Une remédiation cognitive pour l'acquisition des prérequis de la lecture et du nombre

F. Lowenthal et C. Vandeputte
Sciences Cognitives, Université de Mons-Hainaut
Francis.Lowenthal@umh.ac.be

Abstract

L'un d'entre nous (FL) a réussi à établir en 1982 les bases d'une communication structurée avec un enfant âgé de 5 ans et 6 mois, Saïd. Après une méningo-encéphalite, cet enfant avait perdu, à l'âge de 13 mois, les bases de la fonction langagière qu'il avait acquises antérieurement. L'approche cognitive utilisée était basée sur des manipulations d'outils logico-mathématiques. Ce chercheur a choisi d'appeler ces outils "Représentations concrètes d'un système formel" **(RCSF)**.

Les mêmes outils, ainsi que d'autres destinés à amener l'enfant au niveau de la symbolisation abstraite, ont été employés avec un enfant de 10 ans souffrant du syndrome X-fragile. Cet enfant a un QI très faible (42). L'emploi de diverses RCSF lui a néanmoins permis de construire les précurseurs logiques nécessaires pour l'acquisition de certaines notions numériques, ainsi que des bases de la lecture et de l'écriture. A l'âge de 16 ans, ce sujet qui, 6 ans auparavant, n'associait pas de son aux lettres, commence à déchiffrer. Des progrès cognitifs majeurs ont également été observés dans d'autres domaines. Depuis 5 ans, d'autres enfants souffrant du syndrome X-fragile sont également suivis par notre équipe.

Dans cet article, nous présentons la méthodologie et les outils utilisés, ainsi que les résultats observés chez l'un des enfants suivis par notre équipe. Dans notre conclusion, nous tenterons d'expliquer pourquoi notre méthode permet à nos patients de réaliser les progrès inattendus qui ont été observés.

Introduction : Saïd, un enfant aphasique

Saïd est le quatrième enfant d'une famille de 6. Jusqu'à 13 mois son développement est normal. A un an il comprend ce que lui dit sa mère et communique en produisant des "phrases" d'un seul mot (stade de l'holophrase). A l'âge de 13 mois il fait une méningo-encéphalite et depuis lors il ne produit plus rien et ne comprend plus rien. Des CT-scan répétés montrent de larges lésions cérébrales dans les deux hémisphères, clairement localisées autour du sillon rolandique. De nombreuses thérapies classiques ont été utilisées (approche logopédique classique, langage des signes, symboles Bliss, etc) mais elles ont toutes échoué. En désespoir de cause, et comme Saïd ne répondait correctement à aucun des tests classiques, cet enfant a été étiqueté "handicapé mental sévère".

Lorsque Saïd a eu 5;6 ans nous avons commencé à utiliser avec cet enfant une thérapie cognitive basée sur des manipulations de Représentations Concrètes de Systèmes Formels (Lowenthal & Saerens, 1982, 1986). Nous avons utilisé des blocs logiques, la mosaïque et les labyrinthes dynamiques décrits plus loin. Après 3 ans de thérapie cognitive nous avons constaté des progrès importants : Saïd communique

de manière structurée, il lit, écrit et calcule. Une paralysie de certains nerfs crâniens (syndrome pseudo-bulbaire) l'empêche d'articuler mais pas de communiquer. Nous estimons que notre intervention lui a permis de faire "redémarrer" son développement. Nous avons à l'époque formulé l'hypothèse que les manipulations de RCSF que nous lui avions proposées favorisaient une réorganisation cérébrale qui lui avait permis de mobiliser des zones neuronales restées intactes. D'autres observations cliniques (Mauro, 1990) nous ont convaincu qu'il en était probablement ainsi dans le cas de lésions localisées, même importantes, mais pas dans le cas de lésions diffuses (Lowenthal, 1999). L'influence de manipulations de RCSF dans le cadre d'une réorganisation cérébrale a été établie par Lefebvre (2006).

Les représentations concrètes de systèmes formels (RCSF) : définition et principes généraux

Une RCSF est un ensemble d’objets qui :

- sont munis de contraintes techniques (plus ou moins fortes),
- n’appartiennent pas au vécu quotidien du sujet.

Les briques Lego représentent un exemple de RCSF. Techniquement, il est possible de poser horizontalement ou verticalement une brique sur une plaque de base. Par contre, il n’est pas possible de poser une brique en diagonale. Ce que permettent ou non les briques Lego est découvert par l’enfant lui-même, lorsqu’il manipule le matériel. Les caractéristiques des pièces ne doivent pas être expliquées verbalement par un adulte.

En fait, les contraintes techniques rendent certaines actions possibles et d’autres impossibles. Le matériel introduit donc de manière naturelle une structure logique sans qu’il faille utiliser le support langagier. Non seulement la situation peut être donnée de manière non verbale, mais le matériel permet à l’individu de produire une solution pas à pas de manière également non verbale. Nous montrerons plus loin l'importance de ce facteur dans toute tentative de remédiation cognitive avec des personnes qui présentent des troubles de la compréhension et de la production du langage, ce qui est souvent le cas avec des personnes présentant un retard mental.

Quelques uns des outils utilisés comme RCSF

Nous présentons dans ce paragraphe trois matériels qui existent depuis un certain temps, mais pour lesquels nous proposons un nouveau mode d’emploi. Ces outils sont extérieurs au vécu familier de l'enfant. Utilisés comme nous le suggérons, ils nous ont permis de travailler avec de nombreux sujets : des observations cliniques montrent que la plupart d'entre eux ont réalisé des progrès. Une observation récente sous IRMf (Lefebvre, 2006) confirme l'hypothèse que l'un d'entre nous avait formulée (Lowenthal, 1999) : les manipulations de RCSF munies de contraintes techniques très fortes favorisent une réorganisation cérébrale. Les implications de ce résultat suggèrent de nouvelles questions de recherche concernant plus particulièrement les enfants souffrant du syndrome x fragile, mais ces implications dépassent le cadre du présent article.

Nous ne décrirons ici que trois de ces dispositifs. Nous présenterons ensuite les activités de remédiation proposées à Yannick, un garçon souffrant du syndrome x fragile. Nous précisons déjà que des dispositifs complémentaires ont été créés et employés avec lui, selon les mêmes principes, à côté de ceux qui existaient déjà.

Nous donnerons ultérieurement les principaux résultats obtenus avec le sujet x fragile.

Les blocs logiques

1. Description du matériel

Chacun des 48 blocs logiques (Diénès et Golding, 1970) est un objet défini par quatre variables : la forme, la couleur, la grandeur et l'épaisseur. Diénès et al utilisent quatre formes (carré, rectangle non carré, triangle rectangle et disque), trois couleurs (rouge, bleu, jaune), deux grandeurs et deux épaisseurs. Vygotsky (1986) a décrit des formes qui ont des propriétés semblables. Dans ce dernier cas il n'y a plus que trois variables : la forme (carré, triangle et disque), la couleur (rouge, bleu, jaune et vert) et la taille (deux possibilités), ce qui donne 24 combinaisons possibles.

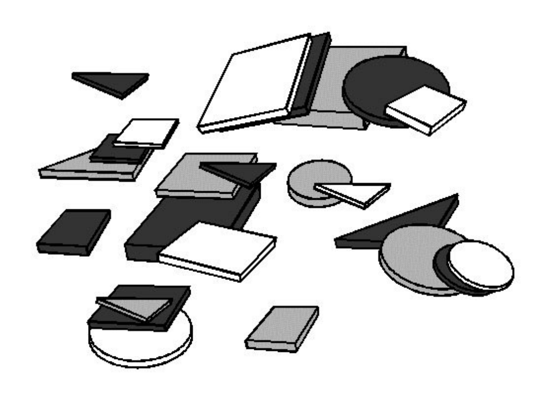


Figure 1 : un tas de blocs à classer

Nous avons décrit (Lowenthal et Saerens, 1986) des étiquettes adaptées aux différents critères. Ces étiquettes peuvent être barrées, ce qui correspond à la négation du critère représenté par l'étiquette non barrée :

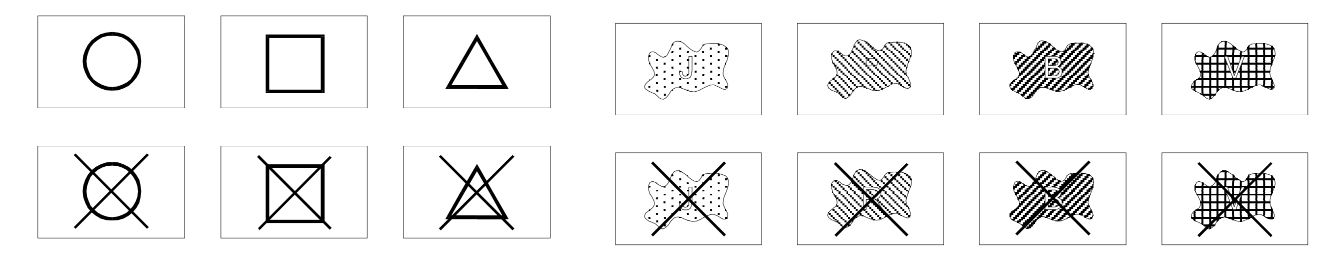


Figure 2a : étiquettes correspondant à la forme

Figure 2b : étiquettes correspondant à la couleur



Figure 2c : étiquettes correspondant à la taille : GRAND et PETIT

Figure 2d : étiquettes correspondant à l'épaisseur : EPAIS et MINCE

2. Exemples d'activités proposées

Les premiers auteurs qui ont utilisé ce type de matériel l'ont employé pour faire faire des exercices de classement et de catégorisation. Nous avons utilisé de tels exercices, mais aussi des classements en arbre et d'autres basés sur l'emploi de nos étiquettes. Nous avons aussi utilisé des exercices décrits par Frédérique (1996) et par Vandeputte (1976).

La mosaïque

1. Description du matériel

La mosaïque est un jouet pour enfants. Elle se compose d'une plaque en plastique munie de trous définissant un quadrillage et de clous en plastique que l'enfant peut enfoncer dans les trous pour faire un "joli dessin". Ces clous sont définis par deux caractéristiques : la forme de la tête du clou (carré ou quart de rond) et la couleur (bleu, jaune, rouge, vert ou orange).

Pour la clarté de l'exposé, les couleurs sont représentées dans les figures suivantes par des lettres ou des hachures. Nous avons aussi choisi d'utiliser le terme "pointe" pour désigner les clous à tête en quart de rond.

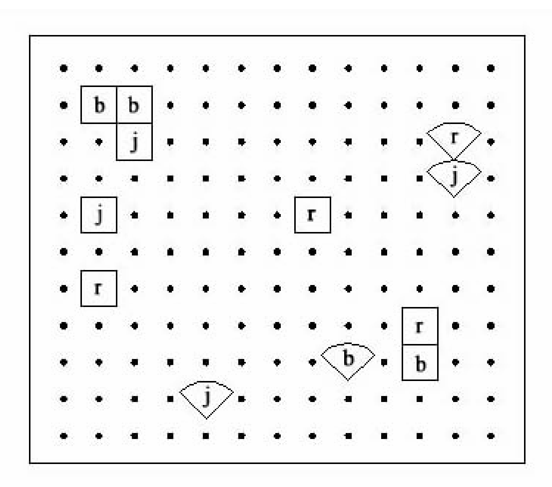


Figure 3 : la plaque et les clous de la mosaïque

2. Exemples d'activités proposées

Nous avons utilisé la mosaïque non pas pour permettre au sujet de réaliser des dessins mais pour introduire des séquences rythmées visuelles que nous appelons "pseudo-rythme" (Lowenthal, Ledoux et Meunier, 1996). Ce type d'exercices est illustré par le schéma de la figure 4. L'intervenant se contente de présenter ce début de séquence au sujet en disant : "Continue" et en refusant les réponses incorrectes. Les observations réalisées par notre équipe montrent que des sujets handicapés apprennent rapidement à prendre une à une les pièces permettant de continuer la séquence. Au bout d'un certain temps, ils sélectionnent même d'un coup plusieurs pièces nécessaires pour poursuivre le rythme (ici trois clous à tête carrée).

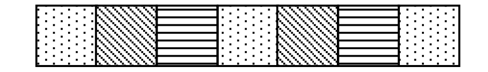


Figure 4 : début de séquence rythmée

Ce matériel a également permis d'introduire, au départ de manipulations concrètes, un langage de programmation accessible aux jeunes handicapés (Lowenthal, 1985). Pour ce type d'exercices, la plaque de base est subdivisée en trois colonnes. Celle de gauche est réservée à des séquences de clous carrés affectées d'une pointe qui en représente le nom. Ce sont là les procédures que nous utiliserons dans l'exercice. La colonne centrale ne peut accueillir que des pointes. Il s'agit du programme. La colonne de droite est réservée aux carrés correspondant à l'exécution du programme.

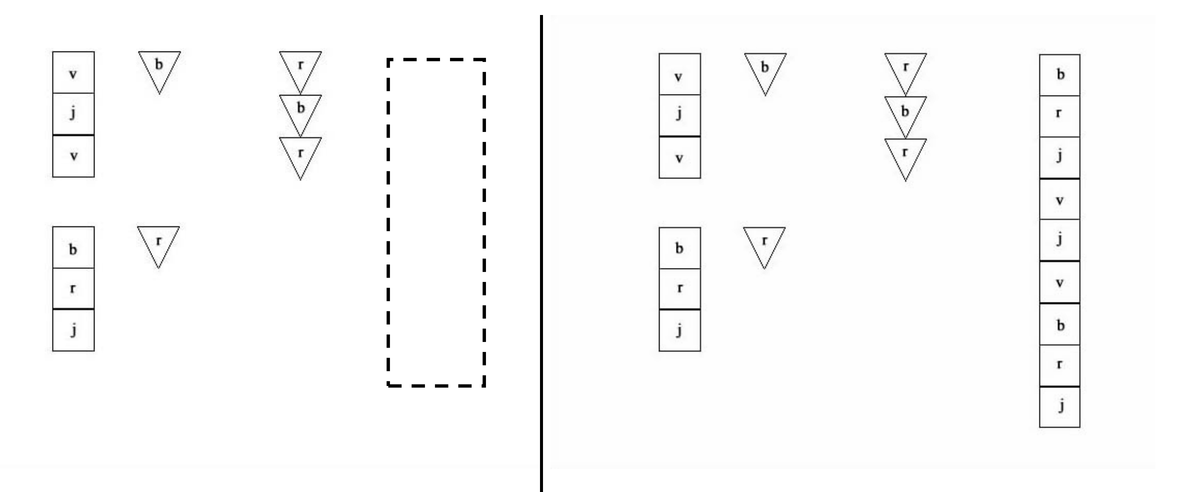


Figure 5a : présentation des procédures et d'un programme

Figure 5b : exécution de ce programme

Pour proposer un exercice à un enfant, on lui montre une plaque sur laquelle il voit deux des colonnes et on lui demande de reconstituer la colonne manquante. Il y a des exercices simples qui se limitent à l'exécution d'un programme donné à partir de procédures visibles (figure 5a) : on découvre la solution en figure 5b. Il y a aussi des exercices plus difficiles qui imposent à l'enfant de retrouver le programme correspondant à une exécution et des procédures données (figure 5c). Ce type d'exercices impose souvent un raisonnement par l'absurde. Il y a enfin des exercices plus compliqués qui consistent à retrouver les procédures qui ont permis, moyennant un programme visible, d'aboutir à une exécution donnée également (figure 5d).

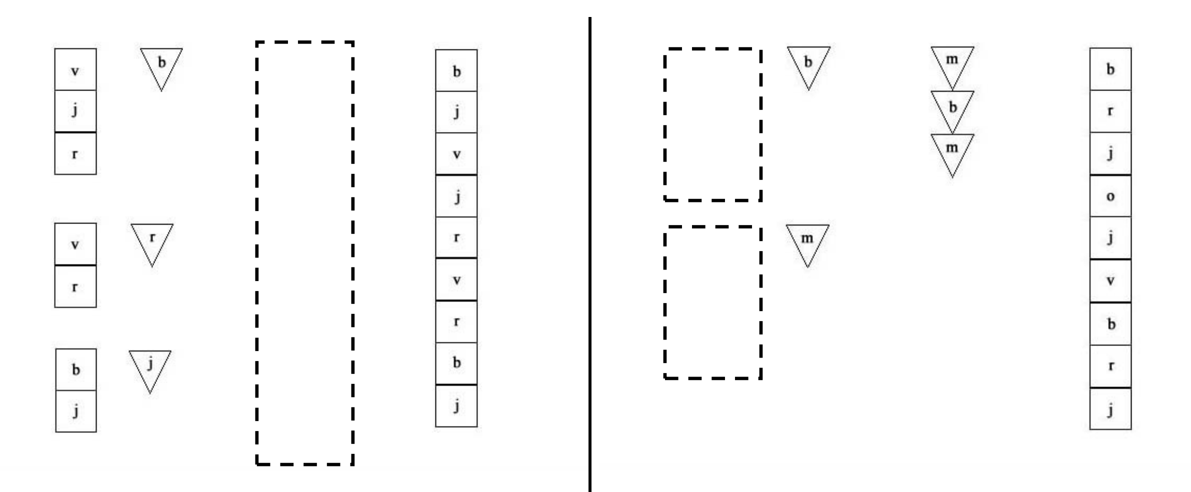


Figure 5c : reconstruction du programme

Figure 5d : découverte des procédures

Chaque type d'exercices oblige donc le sujet à prendre en considération simultanément deux informations différentes (deux des colonnes) pour reconstruire

la troisième. Nos observations montrent que des enfants normaux sont capables de résoudre ces trois types d'exercices dès 5 ans. Nos résultats montrent aussi que ce type d'exercices favorise chez l'enfant handicapé la construction d'un système de communication très simple mais structuré.

Les labyrinthes dynamiques

1. Description du matériel

Cohors-Fresenborg (1978) a créé un dispositif nouveau pour illustrer les différents aspects d'une approche algorithmique. Il s'agit de pièces qu'il faut disposer sur une plaque de base de manière à former un circuit. Ces pièces peuvent être de simples "rails droits", des "rails courbes", des "jonctions", des "carrefours sans tournant" ou des pièces plus complexes tels les aiguillages et les compteurs. Les pièces ne peuvent pas être placées n'importe comment les unes à côté des autres. En effet chaque pièce est munie d'une ou plusieurs encoches et d'un ou plusieurs ergots. Ceci introduit de fortes contraintes techniques internes au matériel. Il est matériellement impossible de placer deux ergots "face à face" ou deux encoches "l'une contre l'autre" sans créer un "trou" ou une "impossibilité de circuler" dans le circuit. Il est également impossible de placer une pièce en diagonale. Le but est de réaliser un circuit qui peut être parcouru par un bâtonnet (le "train"). Un tel circuit est l'équivalent mécanique d'une partie du hardware d'un ordinateur. A chaque passage du "train", les aiguillages peuvent changer d'orientation, d'où le nom de "labyrinthes dynamiques".

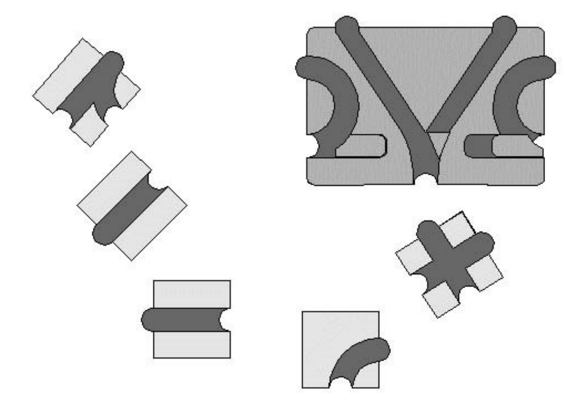


Figure 6 : les pièces créées par Cohors-Fresenborg

2. Exemples d'activités proposées

Cohors-Fresenborg avait créé ses labyrinthes pour introduire l'algorithmique. L'un d'entre nous (Lowenthal, 1986) a choisi de les utiliser pour faire découvrir les régularités de l'environnement : nous présentons un schéma représentant un circuit de manière symbolique (figure 7a), l'enfant doit construire le circuit correspondant (figure 7b). Ensuite, il doit le tester et l'explorer en faisant passer des "trains" numérotés pour pouvoir décrire "à quoi ça sert" en notant les différents états internes dans un tableau approprié (figure 7c). A partir de ce dernier, le sujet doit repérer les régularités et anticiper les sorties du bâtonnet à plus ou moins long terme. Les régularités observées doivent permettre à l'enfant de faire des prédictions, soit en utilisant une représentation par l'image, soit en ayant recours à une représentation par le symbole. Les observations réalisées par notre équipe montrent que des enfants handicapés sont capables de découvrir des régularités dans cet environnement, même s'ils n'ont qu'une notion de nombre très rudimentaire.

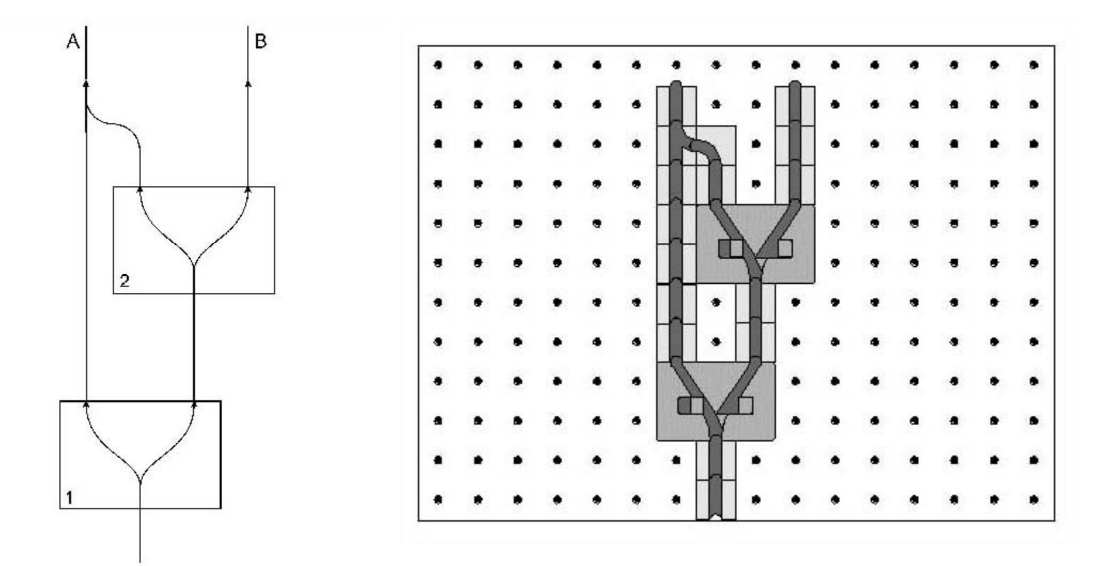


Figure 7a : un schéma pour le "ou" logique Figure 7b : le circuit correspondant

Train	Machine 1	Machine 2	Sortie
1	G	G	A
2	D	G	A
3	G	D	A
4	D	D	B
5	G	G	A

Figure 7c : début d'un tableau-synthèse pour le circuit de la figure 7b

Principales propriétés de ces dispositifs

Ces dispositifs sont :

- non ambigus en ce sens qu'un bloc logique, un clou de la mosaïque ou un rail des labyrinthes dynamiques ne sont rien d'autre qu'un bloc, un clou ou un rail sans référence au vécu du sujet ;
- faciles à manipuler parce que les pièces peuvent aisément être prises en main ;
- flexibles parce que, pour chacun des problèmes proposés, le sujet peut trouver plusieurs manières de construire une solution ;
- ludiques car ces dispositifs peuvent aisément être présentés dans le cadre de jeux ;
- munis de contraintes techniques internes qui rendent certaines actions possibles et d'autres impossibles : ainsi c'est le matériel, et non l'éducateur, qui "dit" au sujet quand il y a une erreur. Les contraintes techniques du matériel jouent donc le rôle d'axiomes et de lois d'inférence et introduisent une structure logique.

Remédiation cognitive et manipulations de RCSF

Les propriétés de nos dispositifs, telles qu'elles sont décrites ci-dessus, permettent de proposer au sujet des situations-problèmes qui relèvent de sa Zone Proximale de Développement (Gattegno et al, 1965; Frédérique, 1968, 1970, 1996 ;Vygotsky, 1986) tout en respectant une approche en spirale (Bruner, 1977) et en privilégiant une approche quasi non verbale (Lowenthal, 1971). Le sujet peut également fournir sa solution de manière non verbale ce qui favorise chez lui, même s'il n'a pas accès

au langage verbal, l'élaboration d'un système de communication structuré. Ces avantages sont liés au fait que les RCSF peuvent être employées aux trois niveaux de représentation décrits par Bruner (1966a; 1966b) : cet auteur a en effet montré que l'enfant normal utilise d'abord une représentation par l'action pour manipuler des objets et résoudre des problèmes, qu'il élargit ensuite cette représentation en construisant une représentation par l'image avant de réussir enfin à aborder le niveau de la représentation par le symbole.

Enfin, notre manière d'utiliser ce matériel oblige le sujet à construire pas à pas sa réponse, ce qui permet au thérapeute d’observer de manière fine la stratégie cognitive choisie par l’enfant avec lequel il travaille.

On peut montrer que les principales propriétés des RCSF découlent automatiquement des deux grands principes repris dans la définition (Lowenthal, 1986a). Il est possible d'intégrer un grand nombre de dispositifs existants mais conçus pour un autre usage : nous en avons décrit quelques uns dans le cadre de cet article. Ce qui importe selon nous, c'est surtout la manière de les utiliser.

Avantages et limites de ces dispositifs

Le fait que ces dispositifs n’appartiennent pas au vécu cognitif du sujet permet d’éviter, dans une certaine mesure, les problèmes affectifs. L’emploi d’une approche quasi non verbale permet de limiter les problèmes liés au "fossé de langage" qui existe entre le jeune enfant et l’adulte-enseignant (voir ci-dessous). Enfin, la structure logique introduite par les contraintes techniques peut aider le thérapeute (ou l’expérimentateur) en lui fournissant une structure à l’intérieur de laquelle il peut facilement analyser ses observations. Cette structure logique aide aussi le thérapeute à mieux organiser ses interventions.

Il faut prendre à propos de ce dernier point une précaution importante : certains dispositifs sont munis de contraintes techniques fortes, tels les labyrinthes dynamiques et les engrenages, tandis que d’autres, comme les blocs logiques et la mosaïque, sont munis de contraintes techniques faibles qui ne valent que par la prégnance de certaines notions (la forme, la couleur). Une étude récente (Lefebvre, 2001) a montré que les deux types de RCSF (contraintes fortes vs contraintes faibles) ne sous-tendent pas les mêmes fonctions cognitives.

Populations observées

Nous avons travaillé avec des sujets sains, mais aussi avec des sujets souffrant d'un handicap. Parmi ces derniers, il faut citer des enfants et adolescents caractériels, troublés instrumentaux, autistes, handicapés modérés à sévères, souffrant du syndrome d'Asperger, ainsi que des personnes souffrant du syndrome non verbal, de dysphasie, d'aphasie de dyslexie et de dyscalculie. Dans tous les cas, les observations réalisées montrent que des manipulations de RCSF favorisent le développement cognitif. Il faut préciser ici qu'avant la présente étude, nous n'avions pas travaillé avec des sujets souffrant d'un handicap d'origine génétique.

Yannick, un enfant souffrant du syndrome x fragile

Description générale du sujet

Depuis juin 1999, nous utilisons des RCSF avec un jeune garçon, Yannick, qui souffre du syndrome x fragile (Bordignon & Vandeputte, 2001, 2005 ; Bordignon, Vandeputte & Lowenthal, in print ; Lowenthal & Vandeputte, 2000). Au début de la

prise en charge, l'enfant est âgé de 10 ans. Il présente un retard mental important : son QI, évalué à l'aide de la WISC-III, est de 42 (QIV : 46, QIP : 46). L'enfant suit un enseignement spécialisé de type 2 (enfants présentant une déficience mentale modérée à sévère).

Yannick dispose par contre d'un bon niveau relationnel. En effet, il a un contact facile avec les autres personnes. Il est capable de converser avec eux d'événements qui l'intéressent ou le préoccupent. De plus, il est intégré dans de nombreuses activités extra-scolaires telles que équitation ou mouvements scouts, activités qu'il partage volontiers avec d'autres enfants qui ne présentent aucun trouble particulier. Cependant, au début de la prise en charge, nous observons chez Yannick la présence de comportements agressifs envers lui-même ou le matériel. Ce type de comportements se manifeste essentiellement lorsque l'enfant est face à une situation angoissante comme par exemple un exercice trop difficile.

Premier bilan cognitif : situation en juin 1999

Au début de l'intervention, Yannick présente d'importants problèmes spatio-temporels. Il est incapable de reproduire un pseudo-rythme visuel (séquence dont le modèle reste visible pendant tout l'exercice). Il est aussi totalement incapable de reproduire un rythme auditif. Sa mémoire à court terme est extrêmement faible (son empan digital est de deux). Il maîtrise néanmoins la permanence de l'objet, qui consiste à savoir qu'un " objet " continue d'exister même hors du champ visuel. En effet, il nous parle volontiers de ses grands-parents qui sont absents ou encore connaît le matériel qu'il va trouver dans les boîtes familières que nous utilisons pour les différentes activités. Il est capable de parcourir de manière ordonnée une collection d'objets disposés linéairement (Bastien, 1987; Bastien et Bovet, 1980). Il peut également classer des objets dans des ensembles, **pour autant que les étiquettes soient exprimées de manière positive** ("Prends tous les blocs rouges" est effectué correctement – "Montre un bloc qui n'est pas rouge" amène comme réponse la production d'un bloc rouge).

Il ne sait ni lire, ni écrire. Tout au plus, est-il capable de reconnaître et d'écrire maladroitement son prénom. Il s'exprime relativement correctement, essentiellement en utilisant un vocabulaire d'adulte. L'enfant éprouve toutefois de nombreuses difficultés pour traiter les phrases négatives et pour utiliser correctement les pronoms.

Ses connaissances numériques sont très limitées : il connaît la litanie des nombres jusque 6 ou 7, mais ne possède pas la notion de nombre au-delà de 2 et ne reconnaît pas globalement les quantités au-delà ce nombre. Les difficultés que Yannick éprouve pour sérier ont été mises en évidence lors de manipulation d'un jouet pour bébé : des pots gigognes au nombre de 15 (Frédérique, 1996). Cet enfant de 10 ans a eu énormément de difficultés pour réaliser la tour de 15 pots. Il y est toutefois parvenu, mais uniquement parce que nous lui avons fourni les pots par série de quatre ou cinq pots consécutifs. Lorsque l'exercice inverse lui été demandé (encastrer les 15 pots dûment empilés les uns dans les autres), Yannick n'a pas eu l'idée d'inverser le processus. Il a résolu laborieusement la tâche, de nouveau par essais et erreurs.

En juin 1999, l'enfant ne maîtrise pas la correspondance terme à terme. Ainsi, mis en présence de jetons de même taille ou de tailles différentes, Yannick répond au hasard à des questions de type : "donne un bébé à chaque maman" ou "les filles sont-elles plus nombreuses que les garçons ?".

Précurseurs cognitifs absents en juin 1999

Certains précurseurs cognitifs généralement considérés comme nécessaires pour l'acquisition de la notion de nombre (Flavell, 1977 ; Piaget, 1967, 1976 ; Piaget & Szeminska, 1941) sont donc non maîtrisés par l'enfant au début de la prise en charge. Il s'agit de :

- la notion de rythme
- les notions d'opposition et de négation
- l'aptitude à classer des objets si les étiquettes fournies sont négatives
- la sériation
- la notion de correspondance biunivoque
- la notion de nombre et de conservation du nombre
- les notions de codage et de décodage

En cours d'observation, nous constaterons également que l'enfant ne maîtrise pas non plus la notion de lien de cause à effet.

Interventions de notre équipe

Yannick est pris en charge depuis juin 1999 par une équipe pluridisciplinaire qui comporte deux mathématiciennes, une logopède et un psychologue. La prise en charge se situe dans un cadre constructiviste brunérien : en effet, nous sommes persuadés que l'individu construit lui-même ses connaissances au travers de ses interactions avec le monde extérieur, par intériorisation des outils et techniques fournis par ce monde. L'objectif de l'équipe est donc de fournir à l'enfant un maximum de situations et d'outils diversifiés afin qu'il puisse construire ses connaissances. Depuis juin 1999, Yannick vient dans le service une fois par semaine, pendant toute l'année scolaire, sauf pendant les jours de congés scolaires : ces interruptions doivent lui offrir un temps de maturation.

Nous avons choisi d'utiliser les RCSF décrites au début de cet article pour intervenir auprès de Yannick afin de lui permettre de construire les précurseurs cognitifs qui lui faisaient défaut. Il est toutefois rapidement devenu évident qu'il était nécessaire d'employer aussi d'autres dispositifs que ceux décrits plus haut, tout en respectant autant que possible les principes qui caractérisent les RCSF. Ces principes sont repris dans la discussion du présent article.

Les activités de remédiation

Notion de rythme

Au début de notre intervention, en juin 1999, Yannick était incapable de reproduire un pseudo-rythme visuel et encore moins un rythme auditif qui par essence est évanescent dans le temps. Par contre, il produisait volontiers, de manière spontanée, un rythme en tapant par exemple sur la table. Les activités que nous lui avons proposées avaient pour objet de développer sa notion de pseudo-rythme visuel en lui faisant continuer des séquences qui restaient visibles. Nous avons utilisé la mosaïque, mais aussi d'autres outils comme les piquets (planchette de bois sur laquelle sont fixés quatre piquets sur lesquelles on peut glisser des jetons colorés, percés en leur centre) ainsi que le colorimonde présenté plus loin.

Actuellement (mars 2006), Yannick est devenu capable de continuer n'importe quelle séquence présentée à l'aide de la mosaïque ou de tout autre matériel non évanescent dans le temps. Pour y parvenir, Yannick est passé par différentes

étapes. Au début, il réalisait les différentes tâches en procédant par essais et erreurs. Dans un deuxième temps, il sélectionnait correctement les pièces à placer mais les disposait mal. Enfin, il a réussi, non seulement à choisir les bons éléments, mais à les placer correctement afin de reproduire le rythme demandé. Il reste par contre incapable de reproduire un rythme auditif.

Notion d'opposition et de négation – classement avec étiquettes négatives

Au début de notre intervention (juin 1999), Yannick arrivait à classer les blocs logiques de Dienès et les formes logiques de Vygotsky, pour autant que les étiquettes fournies soient des étiquettes positives (i.e. non barrées).

Très vite, il est parvenu à jouer au jeu "Devine l'idée que j'ai en tête". Ce jeu consiste à classer les blocs selon un critère connu du meneur de jeu, mais que le joueur doit deviner par essais et erreurs. Yannick réussissait même si l'idée en question correspondait à un critère de classement négatif.

Yannick s'est montré capable de classer les blocs, d'exprimer de manière verbale le critère utilisé et de sélectionner les étiquettes adéquates dans les deux situations présentées ci-dessous.

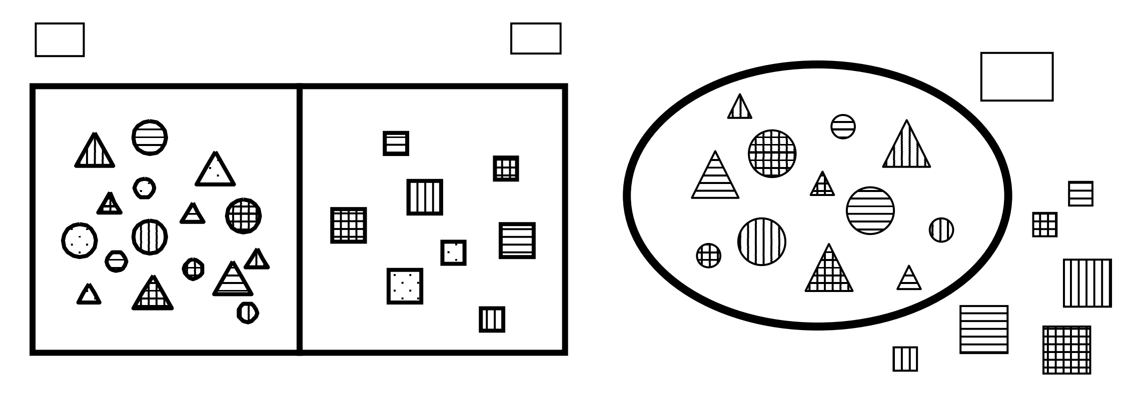


Figure 8a : les "non carrés" et les "carrés" avec leurs étiquettes retournées

Figure 8b : les "non carrés" dans un ensemble avec leur étiquette retournée

Cette connaissance des étiquettes négatives a permis à l'enfant de maîtriser différentes situations :

- la sélection d'un ou de plusieurs blocs décrits par une suite d'étiquettes et à l'inverse la description d'un bloc à l'aide des 4 étiquettes le définissant
- le classement des blocs à l'aide d'un diagramme en arbre
- le classement des blocs logiques dans un tableau à double entrée

Le tableau à double entrée (figure 8d) est toutefois plus difficile à utiliser que le diagramme en arbre (figure 8c). Bordignon a émis l'hypothèse que ce dernier permet de traiter les données de manière séquentielle tandis que l'utilisation du tableau à double entrée se heurte aux difficultés de traitement global des données rencontrées par le sujet.

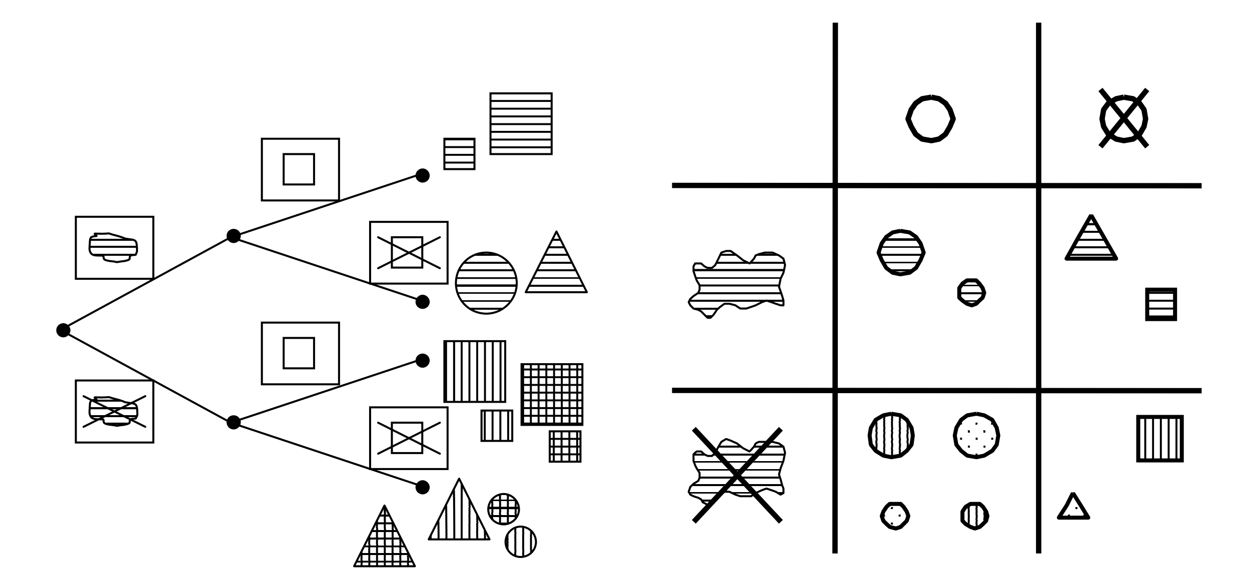


Figure 8c : réalisation d'un diagramme en arbre

Figure 8d : un début de réalisation d'un tableau à double entrée

Dès novembre 2001, Yannick maîtrise la négation et parvient à transférer cette maîtrise à des situations et outils nouveaux : jeux classiques du type "portrait" (il ou elle / oui ou non), jeu des maisons. Ce dernier jeu oblige à sélectionner parmi 16 étiquettes représentant des maisons celles qui n'ont ni la même couleur de façade, ni la même couleur de toit qu'une maison donnée.

Sériation

Nous avons constaté en février 2000 que Yannick, par ailleurs capable de résoudre des exercices aussi difficiles que réaliser n'importe quel circuit à l'aide des labyrinthes dynamiques, ne parvient pas à empiler les pots gigognes d'un jeu destiné à des enfants de 12 à 18 mois.

Fidèles aux principes décrits plus loin, notre aide se résume à proposer un jeu analogue quelques semaines plus tard, puis un autre encore quelques semaines plus tard.

En mai 2003, le sujet parvient à ranger, par ordre croissant, 5 réglettes Cuisenaire consécutives, mais il ne parvient pas à ranger les 10 réglettes. En février 2006, ce dernier exercice est enfin maîtrisé. Il parvient également à insérer des réglettes dans un "escalier" incomplet.

Correspondance terme à terme

Différentes activités, impliquant des bouchons de couleur et d'autres objets apparemment détachés de l'arrière plan cognitif ont été proposées au sujet. Il s'agissait soit de les ranger sur des supports ad-hoc (e.g. piquets, grilles), soit de les apparier librement. Progressivement, l'enfant a fait de nombreux progrès. Il utilise actuellement (mars 2006) spontanément la correspondance terme à terme afin de répondre à des questions du type : " lesquels sont les plus nombreux ? ". Il échoue encore à la question " combien y en a-t-il de plus ? " : il compte **tous** les bouchons de la couleur majoritaire. Par contre, il répond correctement à la question " combien y en a-t-il de trop ? ". Il compare également avec succès la numérosité de deux ou plusieurs collections, notamment en situation de jeu (e.g. bataille, carte gagnante, et le Si.la.bo décrit plus loin).

Notion de nombre et conservation

Pour aborder cette notion nous avons utilisé un quadrillage et des carrés de couleur découpés dans du carton. Lors de la première séance avec ce matériel (cf. figure 9), suite à la question : " les carrés rouges (hachures verticales sur la figure) sont-ils plus nombreux, moins nombreux ou aussi nombreux que les carrés bleus (hachures horizontales sur la figure) ? ", Yannick affirme que les carrés rouges (alignés horizontalement) sont plus nombreux que les carrés bleus (disposés en un carré 2 x 2). Le fait de compter correctement les carrés ne le fait pas changer d'avis. Mais à la question : " si tu devais mettre en couleur, où te faudrait-il plus de peinture ? ", il répond en montrant les carrés bleus et à la question : "et si c'était des gâteaux, où aurais-tu le plus à manger ?" Yannick répond en montrant les carrés rouges.

Deux mois plus tard, sans qu'il y ait eu d'autres exercices de ce type avec le matériel en question, Yannick, après un essai infructueux, reconnaît qu' "il y a la même chose à manger partout", et ce après avoir empilé les carrés de même couleur et avoir comparé les hauteurs des deux tas.

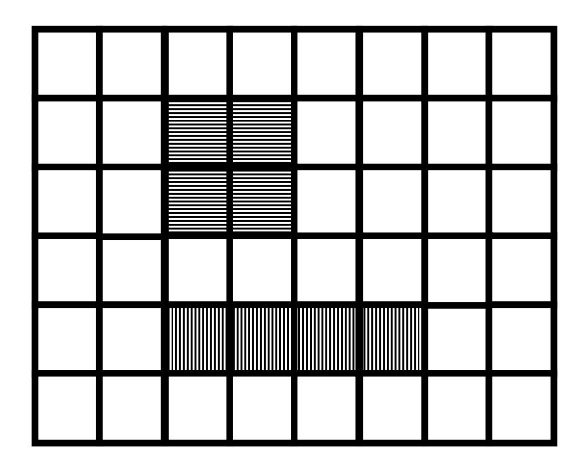


Figure 9a : exemple de tâche de conservation

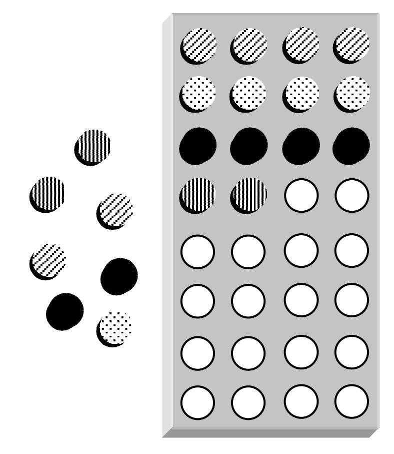


Figure 9b : un colorimonde pour des rangées de 4 bouchons

Un outil que nous avons appelé "colorimonde" nous a permis de comprendre que le vrai problème chez Yannick n'était pas celui de la conservation, mais bien celui de la notion de nombre. Un colorimonde est une planchette présentant des rangées de 4 trous (ou des rangées de 5 trous, ou des rangées de 6 trous) juste assez grands pour recevoir des bouchons. Ces bouchons, de taille identique, existent en différentes couleurs (voir figure 9b).

Dans un premier temps, le sujet est invité à remplir la première rangée à l'aide de bouchons d'une même couleur, de les compter si c'est nécessaire et d'écrire leur nombre (dans le cas décrit figure 9b il s'agit de 4) dans la couleur des bouchons utilisés, sur une feuille attachée à la planchette. Ensuite, on lui demande de prédire combien il faudra de bouchons d'une autre couleur pour la rangée suivante.

Début 2002 les prédictions amènent des nombres aussi différents que 5, 3 ou 6 mais jamais 4 ! A la 7ème ou 8ème rangée, lors de la vérification par comptage, Yannick s'énerve même : " Mais enfin, c'est encore 4 ! ". Nous abandonnons le matériel pendant un an. Au cours de l'année 2003, confronté à une situation analogue, Yannick prédit parfois le nombre correct de jetons qu'il doit prendre ; parfois il signale qu' " il y en aura le même nombre ", mais sans donner à ce nombre son nom correct. Pourtant à cette époque, le sujet dénombrait correctement des collections de plus de 10 objets ! Actuellement (mars 2006), il prédit correctement le nombre si les jetons

sont alignés. Si on les décale ou si on les étale, il dira généralement – mais pas toujours ! – qu'il y a même nombre de jetons, mais il lui arrive encore, dans ce cas, de ne pas nommer correctement ce nombre.

Codage et décodage

Les activités d'association, de codage et de décodage sont celles qui semblent les mieux réussies par l'enfant. Nous avons commencé par de simples copies d'images à l'aide de matériels divers. On voit sur la figure 10a le dessin d'un "trajet" à accomplir avec des ronds en respectant l'orientation et la couleur des pièces ; sur la figure 10b on voit une représentation de la plaque perforée sur laquelle le sujet réussit à déposer, sans erreur ni hésitation, les bouchons correspondant au "trajet" demandé.

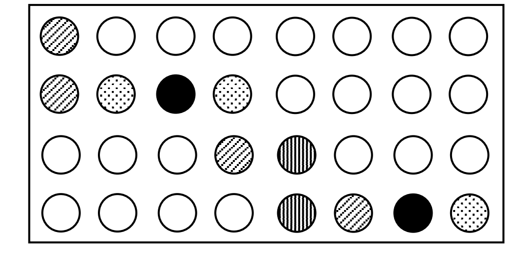


Figure 10a : une feuille dont certaines zones sont coloriées

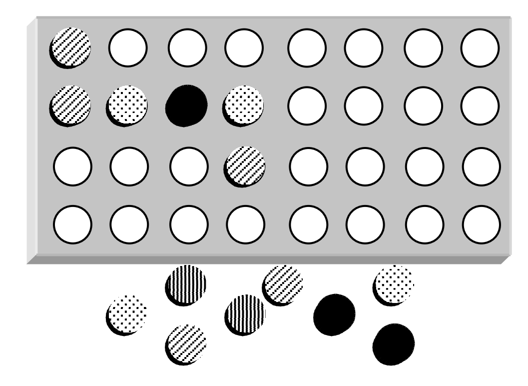


Figure 10b : la plaque correspondante sur laquelle il faut disposer correctement des pions de couleurs

Nous avons ensuite proposé au sujet de coder ou de décoder des messages où figurent encore des indices iconiques. Au lieu du dessin de la figure 10a, nous avons par exemple fourni le dessin suivant :

↓2 → 1 → 1 → 1 ↓ 1

Figure 10c : ce code est pour Yannick l'équivalent d'un dessin du style de celui présenté sur la figure 10a

Enfin nous sommes passés à des messages où le lien signifiant-signifié est totalement arbitraire. Pour le matériel présenté figure 10b un tel message serait, semblable à celui de la figure 10c, mais après avoir remplacé les ronds colorés représentant de manière iconique les bouchons à utiliser par des nuages de colorés. Ceci donnerait par exemple le code reproduit figure 10d :

↓2 → 1 → 1 → 1 ↓ 1

Figure 10d : ce code symbolique a été proposé à Yannick à la place de celui présenté figure 11c

C'est dans cette catégorie d'exercices que se placent la réalisation de circuits de labyrinthes dynamiques (décodage) et des tableaux-synthèse correspondants (codage)

Après des débuts laborieux – difficultés à " s'approprier " les différentes pièces, à gérer spontanément les tournants et les croisements : Yannick a suivi une progression normale d'enfant de 6 ans.

Il a très vite été capable de construire n'importe quel circuit à deux aiguillages, de tester la succession des sorties, et de réaliser le tableau-synthèse. Tenant compte des problèmes de motricité fine que présente Yannick, nous avons toutefois remplacé les lettres G et D par un code couleur.

C'est dans cette catégorie d'exercices que se placent aussi les exercices de programmation à l'aide de la mosaïque. Depuis fin 2001 Yannick parvient à exécuter un programme (procédures et programme donnés).

Actuellement, il comprend le principe de la recherche du programme (procédures et exécution données), mais il a besoin d'aide pour gérer la progression de la recherche. Nous n'avons pas essayé de lui faire rechercher des procédures.

C'est également dans cette catégorie que se placent quelques exercices préparatoires à la lecture, comme celui décrit ci-dessous :

Après avoir présenté à l'enfant deux ou trois formes géométriques de formes et de couleurs différentes, telles celles présentées sur la figure 11 on convient avec lui que :

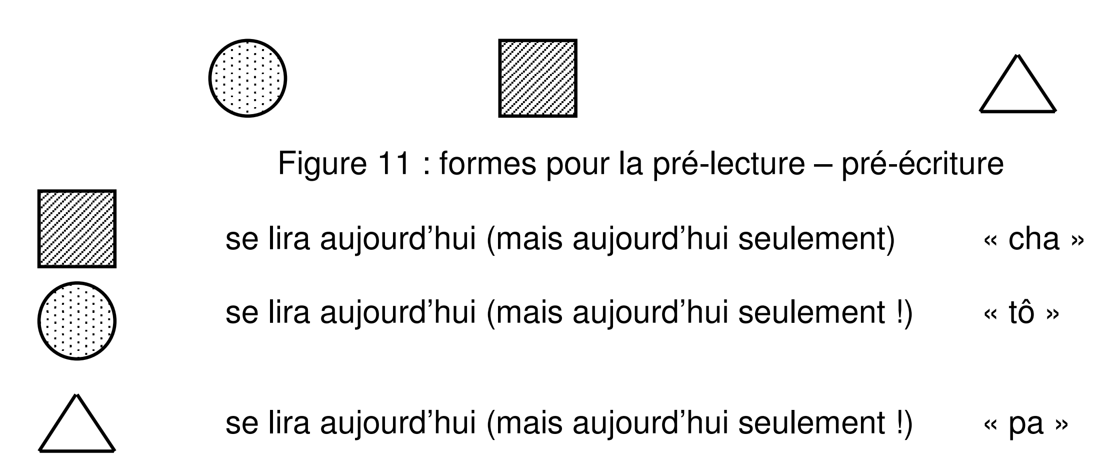


Figure 11 : formes pour la pré-lecture – pré-écriture

se lira aujourd'hui (mais aujourd'hui seulement) « cha »

se lira aujourd'hui (mais aujourd'hui seulement !) « tô »

se lira aujourd'hui (mais aujourd'hui seulement !) « pa »

On demande ensuite à l'enfant d'écrire des mots (papa, pacha, château) à l'aide des formes, ou de " lire " des mots écrits de cette manière. De tels exercices ont été présentés à Yannick dès 2002. Yannick a bien utilisé ses aptitudes au codage-décodage et a d'emblée réussi ces exercices.

Liens de cause à effet

Nous avons signalé plus haut que Yannick est capable de construire un circuit à l'aide des labyrinthes dynamiques et de compléter le tableau-synthèse correspondant. Pendant des années, les prédictions, même à court terme (prévoir où va sortir le train suivant) relevaient d'un processus tout à fait aléatoire, même si, bizarrement, elles étaient souvent correctes. Pour ses prédictions, Yannick s'est d'abord référé à des éléments affectifs (« ce sera A, parce que j'aime cette lettre ! »). Ensuite il s'est intéressé à la suite des sorties (dernière colonne du tableau), sans les lier à la position des aiguillages. Ce n'est que depuis octobre 2005 que Yannick lit le tableau à la fois verticalement (suite des positions d'aiguillages et suite des sorties) et aussi horizontalement (lien entre position des aiguillages et sortie correspondante). En février 2006, il prédit correctement la sortie suivante pour un circuit dont la longueur de la séquence de sorties ne dépasse pas ses

connaissances numériques. Il justifie ses prédictions en montrant une ligne du tableau analogue à celle qu'il doit compléter et donc anticiper. Le sujet ne parvient pas encore à verbaliser sa justification.

Résultats

Domaine numérique

Bien que Yannick semble avoir acquis la plupart des précurseurs à la notion de nombre couramment cités dans la littérature, et que les précurseurs non acquis semblent en voie d'acquisition, les progrès dans le domaine numérique restent faibles. Ces résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

	Juin 1999	**2004**	**Mars 2006**
Rythme	Non acquis	Non acquis	Non acquis
Pseudo-rythme	Non acquis	Acquis	Acquis
Sériation	Non acquis	Acquis	Acquis
Correspondance terme à terme (par manipulation)	Non acquis	Acquis	Acquis
Correspondance terme à terme (invariance de la quantité)	Non acquis	En cours d'acquisition	En cours d'acquisition
"Autant que", "plus que" et "moins que" présenté verbalement	Non acquis	Non acquis	Non acquis
Comparaison de la numérosité de deux ou plusieurs collections	Non acquis	Non acquis	Acquis
Subitizing	Non acquis	Acquis jusque 4 (schèmes de dé)	Acquis pour 1 – 2 et 4 éléments (schèmes de dé) (difficultés avec 3 et 5 éléments)
Litanie numérique	Acquis jusque 6 ou 7	Acquis jusque 11	Acquis jusque 11
Dénombrement	1 – 2 éléments	Une dizaine d'éléments	Une dizaine d'éléments

Lecture des nombres	Jusque 10	Jusque 100 (aide pour les irréguliers et le passage aux dizaines)	Jusque 100 (aide pour les irréguliers et le passage aux dizaines)
Notion d'addition	Non acquis	Non acquis	En voie d'acquisition pour les petits nombres (avec matériel concret)

Tableau 1 : résultats dans le domaine numérique

Domaine visuo-spatial

Comme tous les sujets confrontés à la réalisation de circuits à l'aide des Labyrinthes Dynamiques (Lefebvre, 2001), Yannick a nettement progressé dans le domaine de la représentation spatiale. Il est désormais capable de reproduire des figures à l'aide de carrés inspirés des cubes de Kohs.

Vers la lecture ?

Au début de la remédiation, les séances se terminaient traditionnellement par un moment de dessin libre. Souvent l'enfant nous demandait de l'aider à écrire un mot (e.g. le nom du destinataire) en épelant les lettres. Il avait en effet acquis au cours de sa scolarité le nom et le dessin des lettres, mais ne parvenait pas à leur associer un son.

C'est la vision du dessin animé « La planète des alphas », en juin 2002 au cours d'une après-midi récréative à l'école, qui a éveillé chez l'enfant la conscience phonémique. Dans cette méthode suisse d'aide à l'apprentissage de la lecture les lettres sont personnifiées : les voyelles sont représentées par des personnages et les consonnes par des objets ou des animaux. Dans chaque cas le nom du personnage, de l'animal ou de l'objet commence par la lettre représentée (e.g. : "f" est représenté par une fusée). Chacun de ces représentants émet un seul son : celui qui est associé au graphème représenté.

Lors de la séance qui a suivi cette vision, Yannick a fait une allusion au dessin animé.

Or, il nous semblait, suite à ses performances en codage-décodage, qu'il pouvait être prêt à comprendre le symbolisme de la lecture. Pendant un an (de juin 2002 à juin 2003), une fois par mois, nous avons inclus une activité liant son et lettre, en raccrochant cette activité à la planète des alphas. Au bout de cette année, le recours à la planète des alphas pour lier un son à une lettre est devenu inutile, mais lier deux phonèmes (/ l / + / a / = [la]) restait difficile. Nous avons essayé de développer cette aptitude à lier deux phonèmes en travaillant sur la reconnaissance globale des syllabes, notamment à l'aide d'un jeu des 7 familles appelé Si.la.bo (éditions Fada), où les familles à reconstituer sont précisément des familles de syllabes.

Actuellement, Yannick déchiffre des mots composés de 2 ou 3 syllabes simples mais la lenteur du processus, et le faible empan mnésique de Yannick lui rendent cette tâche très ardue. Ecrire des mots à l'aide de cartes-lettre ou de cartes-syllabe est une activité nettement moins pénible que déchiffrer. Depuis janvier 2004, nous prévoyons des activités de lecture ou d'écriture chaque semaine.

Le nombre de mots que Yannick reconnaît globalement s’est mis à augmenter. Il reconnaît notamment les mots désignants les jours de la semaine, les mots "papa", "maman", "bus", "chat", "vélos", certains prénoms, les noms de fruits (e.g. : banane, pomme), le nom du village où il habite et celui de la ville voisine. Nous essayons de développer cette aptitude en lui faisant "lire" des phrases simples (sujet-verbe-objet) tout en mettant à sa disposition un référentiel (images + graphie) des principaux mots que contiennent ces phrases. Yannick réussit fort bien ce type de tâche de lecture.

Au cours de ces deux années, Yannick a également réalisé qu’un même mot se lisait toujours de la même façon !

Yannick ne lira probablement jamais de roman, mais son aptitude à reconnaître globalement des noms lui permettait, en 2004, de sélectionner parmi 4 entrées pré-programmées, la personne qu’il souhaitait appeler sur son GSM.

Il importe de souligner ici que Yannick comprend ce qu’il "lit", qu'il reconnaisse un mot de manière globale, ou qu’il déchiffre péniblement une consigne simple ("Vas au tableau"). Nous avons pu le à de multiples reprises, dans de nombreuses situations différentes, par exemple en lui faisant accomplir des tâches décrites dans de petits messages ou lui faisant vérifier la véracité d'affirmations présentées par écrit..

En dehors du cadre scolaire, dans la vie de tous les jours, Yannick ne déchiffre pas spontanément un mot inconnu. Il repère néanmoins les mots connus globalement et les énonce. Il manifeste un intérêt pour les livres et les magazines illustrés.

Il faut enfin signaler que l'observation des enregistrement vidéo des séances de remédiation montre clairement une évolution des productions verbales de Yannick.

Discussion : Principes de base pour une remédiation cognitive

Les progrès décrits ci-dessus ont été atteints dans le cadre d'une remédiation spécifique dont il importe de préciser ici les principes.

Principes de base pour une remédiation cognitive adaptée

Dans le cas de sujets souffrant d’un handicap mental sévère les avantages offerts par les RCSF permettent de faire refaire par l'enfant, mais autrement, des expériences qu'il n'a pas pu vivre ou qu'il a vécues mais dont il n'a pas pu, du fait de son handicap, tirer tous les bénéfices qu'en retirent des enfants normaux (Bordignon & Vandeputte, 2005 ; Lowenthal & Vandeputte, 2000). Nous pensons que, chez l'enfant handicapé mental, certains précurseurs de base n'ont pas pu être maîtrisés pendant le développement naturel du sujet mais qu'une approche adaptée peut aider le jeune handicapé à construire autrement ce qu'il n'a pas pu construire en même temps et comme les autres. Il nous semble essentiel de l’aider à construire ces bases d’une autre manière pour éviter l’erreur méthodologique qui consisterait à "vouloir combler le trou en travaillant le trou" : ce qui n’a pas réussi une première fois doit plutôt être contourné.

Pour les mêmes raisons il importe, pour tout ce qui est cognitif, d’éviter autant que possible le drill : c’est le seul moyen de favoriser le développement d’un esprit qui, dans la mesure où son handicap le permet, pourra jouir du plaisir de penser et de vivre sur le plan intellectuel (Frédérique, 1996) et transférer ses acquis cognitifs dans d'autres domaines que celui où l'apprentissage a été fait.

La méthode adaptée à laquelle nous pensons doit tenir compte du fait que le traitement cognitif est plus lent chez l'enfant handicapé. Or la communication

verbale, telle qu'elle est utilisée habituellement dans notre enseignement, est évanescente dans le temps. La communication verbale est donc contre-indiquée dans le cas d'une mémoire de travail faible. De plus, il y a entre tout jeune qui construit son langage et l'enseignant adulte qui le maîtrise déjà un fossé de langage : chacun des deux croit avoir compris l'autre et croit avoir été compris par l'autre, alors que souvent ce n'est pas le cas (Siegel, 1978). La lenteur du traitement cognitif chez le jeune handicapé rend ce fossé de langage encore plus important et plus difficile à contourner. Il est donc indispensable de repenser notre enseignement : l'enseignement classique est essentiellement verbal, or il semble important d'éviter dans la mesure du possible la dimension verbale avec de jeunes handicapés. C'est entre autre pour cette raison que nous avons choisi d'utiliser du matériel qui permet de présenter aux jeunes des situations-problème variées en utilisant une approche aussi peu verbale que possible.

En outre, le matériel décrit ci-dessus est facilement manipulable. Il permet aussi de présenter, dans une optique brunérienne, des situations-problème adaptées aux besoins spécifique des sujets avec lesquels nous travaillons. Si nous voulons réellement que le jeune handicapé ait une chance de construire autrement ce qu'il n'a pas pu construire de manière naturelle, il semble indispensable de lui permettre de parcourir à nouveau, mais d'une manière différente, les trois niveaux de représentation brunériens cités plus haut.

Gestion des difficultés et des échecs

En cas d'échec à un exercice donné, nous signalons que la réponse est fausse, mais nous ne fournissons généralement pas la solution exacte. Nous n'appauvrissons pas non lui les situations afin de présenter à l'enfant des situations de plus en plus simples, afin qu'il surmonte le défi par petites étapes : les apprentissages naturels sont rarement simples !

En cas d'échec nous nous contentons d'appliquer les principes de l'enseignement en spirale décrit par Bruner (1977) et repensé par Frédérique (1996) : nous représentons la même situation ou une situation légèrement modifiée quelques semaines ou quelques mois plus tard. En général, il y a eu maturation.Si ce n'est le n'est pas le cas, nous proposons parfois une situation intermédiaire, mais plus souvent un matériel différent, poursuivant l'objectif non atteint. Un « coup de pouce » lors d'un échec n'est donné que s'il ne détruit pas le défi pour une séance ultérieure. Une information n'est fournie que si on est sûr que l'enfant ne pourra pas la trouver par lui-même.

Conclusion

Yannick est un garçon souffrant du syndrome x fragile. En juin 1999, il ne savait ni lire, ni écrire ni compter. Une remédiation cognitive basée sur des manipulations de RCSF a été organisée pour lui. En mars 2006 il ne sait toujours pas bien compter mais il a fait des progrès en lecture et en écriture. Il continue à progresser au niveau de la reconnaissance globale des mots et de l'écriture de mots simples. Il a également progressé dans le domaine visuo-spatial et a maîtrisé le lien de cause à effet, au moins dans un domaine.

Les activités de remédiation présentées ci-dessus à propos de Yannick ont été proposées à d'autres garçons souffrant du syndrome x fragile. Les résultats observés vont tous dans le même sens. Ils montrent clairement que les RCSF sont utiles dans le cadre d'activités de remédiation. Cette utilité est plus particulièrement manifeste dans le

domaine visuo-spatial et dans le cadre d'activités liés au langage, qu'il s'agisse d'expression verbale structurée, de lecture ou d'écriture. Ces observations confirment celles réalisées avec des sujets présentant d'autres types de handicap (Vandeputte, 1973; Lowenthal & Saerens, 1982, 1986 ; Mauro, 1990) ou des sujets normaux (Lowenthal, 1986b; Lefebvre, 2001). Ceci pourrait être lié à l'influence des RCSF à contraintes fortes sur certaines structures neuronales liées à la fonction langagière au sens large et à la structuration visuo-spatiale (Lefebvre, 2006).

Certains auteurs affirment que le développement des enfants x fragile s'arrête à la puberté. D'autres sont même plus pessimistes : ils parlent de 10 ans. Yannick a 17 ans maintenant et continue à progresser. Il est pubère depuis un an environ. Ceci, ainsi que les remarques faites dans le paragraphe précédent, nous amène à nous poser des questions à propos des diminutions de QI et des réductions des activités d'apprentissage décrites chez des sujets x fragile de sexe masculin à partir de la puberté (Hagerman et al, 1996)

Bibliographie

Bastien, C. (1987). *Schèmes et stratégies dans l'activité cognitive de l'enfant*. Paris : PUF.

Bastien, C. & Bovet, P. (1980). La découverte du parcours ordonné par l'enfant. *Enfance, 3,* 123-133.

Bordignon, T. & Vandeputte, C. (2001). Un outil favorisant les capacités de structuration spatiale - étude de cas : un enfant X fragile -. *In Actes du colloque Développement cognitif et troubles des apprentissages. Evaluer, comprendre, rééduquer et prendre en charge*. Strasbourg

Bordignon, T. & Vandeputte, C. (2005). Représentations concrètes de systèmes formels et outils mathématiques abstraits comme outils de remédiation, étude d'un cas : un enfant souffrant du syndrome x fragile. *In* B. Vivicorsi & R. Collet (Eds.). *Handicap, cognition et prise en charge individuelle – des aspects de la recherche au respect de la personne*. (149-162). Rouen – Le Havre : Publications des universités de Rouen et du Havre.

Bordignon, T., Vandeputte, C. & Lowenthal, F. (accepté pour publication). Comment favoriser le développement cognitif et la structuration de la pensée chez des enfants présentant une déficience mentale ? *In* H. Gascon, J-R Poulin et J-J. Detraux (Eds.). *Proceedings du 9ème congrès de l'AIRHM*; Presses de l'Université du Québec.

Bruner, J.S. (1966a). On cognitive growth, In *Studies in cognitive growth*, Bruner J.S., Olver R.R. and Greenfield P.M. eds., New York : John Wiley.1-29.

Bruner, J.S. (1966b). On cognitive growth II, In *Studies in cognitive growth*, Bruner J.S., Olver R.R. and Greenfield P.M. eds., New York : John Wiley. 30-67.

Bruner, J.S. (1977). *The process of education*. Cambridge, London: Harvard University Press.

Cohors-Fresenborg, E. (1978). Learning problem solving by developing automata networks. *Revue de phonétique appliquée, 46/47*, 93-99.

Dienes, Z.P. & Golding, E.M. (1970). *Les premiers pas en mathématique : logique et jeux logiques*. Paris : OCDL.

Flavel, J. H. (1977). *Cognitive development.* New Jersey : Pentrice Hall.

Frédérique (1968). *L'enfant et les graphes*. Bruxelles : Marcel Didier.

Frédérique (1970). *Les enfants et la mathématique 1*. Bruxelles : Marcel Didier.

Frédérique (1996). Un adolescent hyperlexique et la mathématique. Bruxelles, Centre belge de pédagogie de la mathématique.

Gattegno, C., Piaget, J, Beth, E.W., Dieudonné, J., Lichnerowiz, A. & Choquet, G. (1965). *L'enseignement des mathématiques tome 1, nouvelles perspectives.* Neuchâtel : Delachaux & Niestlé.

Hagerman, R.J. & Cronister, A. (1996). Fragile X Syndrome. Baltimore and London : The Johns Hopkins University Press.

Lefebvre, L. (2001). *Etude de l'influence de représentations concrètes de systèmes formels et de méthodes de lecture sur certaines fonctions cognitives.* Mémoire réalisé pour l'obtention du Diplôme d'Etudes Approfondies en sciences du langage, orientation langage et cognition, Mons : Université de Mons-Hainaut.

Lefebvre, L. (2006). La réorganisation fonctionnelle des aires cérébrales du langage et de l'organisation visuospatiale - Influence des régularités environnementales lors d'un entraînement non verbal : études en IRMf, Thèse de doctorat, Université de Mons-Hainaut, Mons.

Lowenthal, F. (1971). Enseignement de la mathématique à 2 groupes d'enfants caractériels. *NICO, 10*, 69-86.

Lowenthal, F. (1985). Pegboard as basis for programmation in 5 and 6 year olds. *In Proceedings of PME 9*. 47-52. Berkeley.

Lowenthal, F. (1986a). Relevance of typically logico-mathematical formalisms for research in psychology. *Logique et analyse, 115*, 501-508.

Lowenthal, F. (1986b). Non-verbal communication devices : their use and the mental processes involved. *In* F. Lowenthal & F. Vandamme (Eds.). *Pragmatics and education*, 29-46. New York : Plenum Press.

Lowenthal, F. (1999). Can handicapped subjects use perceptual symbol systems ? Behavioral and Brain Sciences, 22, 4, 625-626.

Lowenthal, F., Ledoux, F. & Meunier, M. (1996). *La Mosaïque*. Mons : Sciences cognitives, Presses de l'Université de Mons-Hainaut.

Lowenthal, F. & Saerens, J. (1982). Utilisation de formalismes logiques pour l'examen d'enfants aphasiques. *Acta Neurologica Belgica, 82*, 215-223.

Lowenthal, F. & Saerens, J. (1986). Evolution of an aphasic child after the introduction of NVCDs. *In* F. Lowenthal & F. Vandamme (Eds.) *Pragmatics and Education*, New York : Plenum Press, 301-330.

Lowenthal, F. & Vandeputte, C. (2000). Structure de base pour l'acquisition du langage et du nombre : ou comment acquérir autrement un esprit logique pour un meilleur développement du "savoir". In *Actes du colloque Le syndrome de l'X fragile : diagnostic – accompagnement familial et éducatif*. Liège

Mauro A. (1990). *Observation de deux enfants polyhandicapés à l'aide de manipulations concrètes de systèmes formels*. Mémoire réalisé pour l'obtention du diplôme d'études post-graduées en sciences psychopédagogiques, Université de Mons-Hainaut.

Piaget, J. (1967). *La psychologie de l'intelligence*. Paris : Armand Colin.

Piaget, J. (1976). *La représentation du nombre chez l'enfant*. Paris : PUF.

Piaget, J. & Szeminska, A. (1941). *La représentation du nombre chez l'enfant*. Neuchâtel : Delachaux et Niestlé.

Siegel, L.S. (1978). The relationship of language and thought in the preoperational child : a reconsideration of nonverbal alternative to piagetian tasks. In Linda, L.S. & Brainerd, C.J., Alternative to Piaget. New York, San Francisco, London : Academic Press.

Vandeputte, C. (1973). Un enseignement moderne de la mathématique à des enfants paralysés cérébraux. *NICO, 13*, 105-139.

Vandeputte, C. (1976). *CSMP mathematics for kindergarten – teacher's guide*. Saint Louis : Comprehensive School Mathematics Program – CEMREL.

Vygotsky, L.S. (1986). *Thought and Language*. Cambridge : Massachusetts Institute of Technology.